

Sous la direction de

B. Sultan, A. Y. Bossa,
S. Salack, M. Sanon

Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest



Diagnostic rizicole des bas-fonds face aux risques climatiques

Les effets des aléas d'inondation (Lofing-Bankandi, Dano, Burkina Faso)

*Georges SERPANTIÉ, Augustine DORÉE,
Manaka DOUANIO, Fabrice SOMÉ, Séverin HIEN,
Aymar Y. BOSSA, Jean-Louis FUSILLIER, Bruno LIDON,
Abdraime SAWADOGO, Nab DABIRÉ*

Introduction

Au Burkina Faso, pays sahélien vulnérable aux risques climatiques, les bas-fonds humides des zones soudano-sahéliennes ont joué un rôle agricole croissant à partir des sécheresses de 1970-1990 selon une fonction anti-risque (SERPANTIÉ et ZOMBRE, 1994). Du fait de cette propriété anti-aléatoire, l'aménagement des terres de bas-fonds pour la culture du riz a été promu dans une forme intermédiaire à l'irrigation (JAMIN et WINDMEIJER, 1995; DRABO, 2004). Cette « mise en valeur des bas-fonds » se déplace aujourd'hui vers les zones plus humides en présence d'une demande urbaine en riz croissante et avec l'augmentation des prix en 2008 sur le marché mondial.

Ailleurs en Afrique de l'Ouest, la riziculture s'est aussi développée dans les bas-fonds, parfois très anciennement, mais les pratiques le plus souvent observées visent plus à minimiser les risques écoclimatiques qu'à maximiser la production (MANZELLI et al., 2015). Peut-on encore concilier ces deux objectifs alors que les aléas liés au changement climatique semblent s'aggraver (BROWN ET CRAWFORD, 2018) ?

L'enjeu pour une recherche d'accompagnement de l'adaptation est double : 1) accroître les productions de riz de bas-fond (surfaces, rendements) sans réduire la fonction « anti-risque » de ces derniers, ni ajouter de nouveaux risques environnementaux ou sociaux ; 2) adapter aménagements et pratiques aux nouveaux aléas.

Les questions scientifiques à traiter portent donc sur la caractérisation des aléas (anciens comme nouveaux) auxquels doivent faire face les riziculteurs de bas-fond, sur les effets de ces aléas et sur le niveau d'adaptation des pratiques des riziculteurs à ces aléas, en milieu « aménagé » comme « non aménagé ».

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Le sud-ouest du Burkina Faso sous climat sud-soudanien, qui focalise ces politiques d'aménagement de bas-fonds et de soutien aux filières riz, a été sélectionné comme cadre géographique. La province du Ioba a été retenue pour son abondance en terres de bas-fonds et en raison de l'implantation récente de projets d'aménagements innovants.

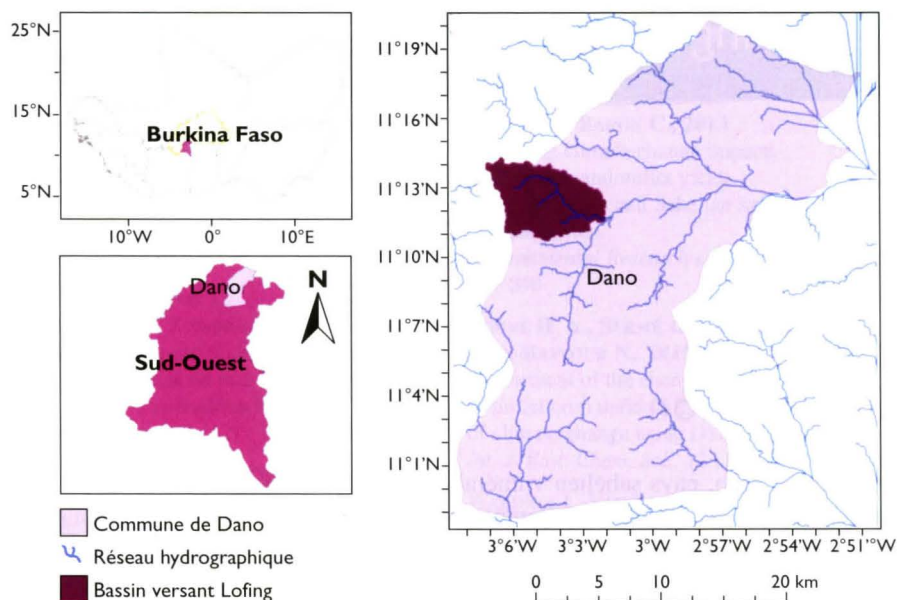


Figure 1.

Le site d'étude du bassin versant de Lofing, Burkina Faso, province du Ioba, commune de Dano.

Source : BNDT 2012, Generia.

La commune de Dano (fig. 1), chef-lieu de la province, est un territoire rural. Cette région de langue dagara, de population dense, est restée en marge de la dynamique cotonnière. Les bas-fonds y sont depuis longtemps cultivés pour le riz à plat et le maïs sur buttes puis des projets ont introduit des aménagements pour le riz (PRADEAU, 1970 ; PALÉ *et al.*, 2016). Deux types d'aménagements principaux s'y observent, ceux basés sur la rétention d'eau au moyen de digues en courbe de niveau (« DCN ») et ceux basés au contraire sur le drainage au moyen de digues de partition et canaux parallèles (casiers+arroseurs/draines « CAD »). Ces derniers sont conçus pour parer à deux aléas contraires, l'inondation (par la fonction de drainage des canaux) et la sécheresse (par l'irrigation possible à partir des canaux de drainage). En attendant de pouvoir modéliser des cultures de riz dans le contexte naturel et humain complexe des bas-fonds, le choix de Generia a été de recourir à l'analyse empirique de systèmes rizicoles *in situ*.

Méthodes

Les séries climatologiques longues (stations synoptiques de Boromo et Gaoua) sont analysées par fréquence cumulée et par bilan climatique. Des instruments et jaugeages hydrologiques suivent la pluie, les débits des écoulements, les inondations et la nappe dans trois bas-fonds. Dans chacun, une dizaine de piézomètres ont été relevés quotidiennement en 2017, année à pluviométrie médiane et 2018, année humide de fréquence décennale, avec une mesure interne niveau de l'eau dans le tube) et externe (épaisseur de la lame d'eau).

Un diagnostic agronomique est mené sur l'ensemble du bas-fond de Lofing-Bankandi, limité à Lofing en 2017. Un réseau de 26 parcelles de riz a été suivi en campagne 2017 (DORÉE, 2017) et 54 en 2018 (SAWADOGO, 2018).

Le choix des parcelles répond à un échantillonnage stratifié (aménagé/non aménagé, irrigable/non irrigable, semé/repiqué, semis précoces/semis tardifs, femmes/hommes) avec tirage aléatoire. Chacune fait l'objet d'enquêtes et d'observations sur les pratiques, les coûts et les états cultureux physiques et biologiques à 5 dates. Le rendement est mesuré dans toutes ses composantes par échantillonnage des peuplements à maturité (1 à 5 placettes de 3 lignes de 3 m selon la taille de parcelle. L'analyse sépare les composantes précoces déterminées en phase végétative et celles fixées en phase reproductive.

Aléas et contraintes de la riziculture de bas-fond

Aléas climatiques

Le climat sud-soudanien de Boromo (station synoptique la plus proche de Dano) reçoit depuis 1922 une pluviométrie médiane de 940 mm (décennales : sèche 720 mm, humide 1 090 mm). La saison pluvieuse court de mai à octobre. Il existe un aléa de pentades sans pluie supérieur à 80 % en mai et en octobre et supérieur à 50 % en juin, juillet, septembre. Mais des changements tendanciels apportent de nouveaux aléas, tous confirmés par les paysans de Lofing.

La période 1971-1990 était caractérisée par de nombreuses sécheresses dont plusieurs se succédaient, et par l'absence d'années excédentaires (fig. 2). Le climat s'est stabilisé depuis. Le risque de sécheresses reste maintenu mais s'est atténué à 1 an sur 3. Elles ont perdu ce caractère double qui les rendait particulièrement dommageables. En revanche le risque d'excédents est revenu (1 an sur 3), ce qui concerne particulièrement les bas-fonds qui les collectent, et particulièrement la décennie actuelle où 3 années ont atteint la pluie décennale (2012, 2016 et 2018).

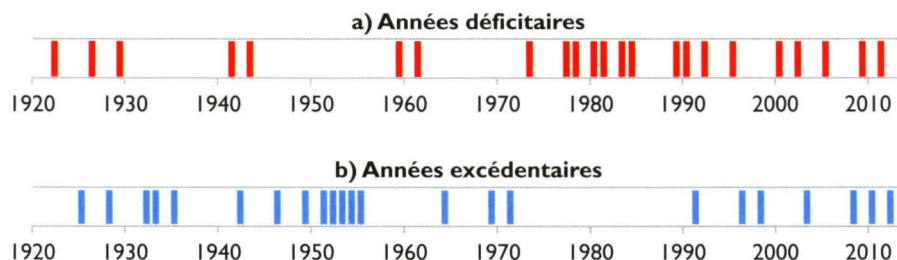


Figure 2.

Distribution des aléas annuels (Boromo).

a : années déficitaires (quartile inférieur $P < 828$ mm) ;b : années excédentaires (quartile supérieur $P > 1\,032$ mm).

Source : Generia.

La saison pré-humide (mai-juin) est la période d'aléa sécheresse principale et pourtant c'est aussi la période stratégique de « mise en place des enjeux ». Le piochage des sols argileux demande des pluies suffisantes pour la réhumectation des terres argileuses desséchées (mai). Les périodes les plus favorables aux semis sont celles dont la pluie est supérieure à ETP/2 (évaporation du sol nu) pour la recharge du sol en eau (juin).

Les aléas de cette saison stratégique ont significativement augmenté. La distribution statistique des pluies décennales a changé significativement depuis la sécheresse 1971-1990 (test KOLMOGOROV-SMIRNOV, au risque 5 %). La fréquence de décades très sèches ($P < \text{ETP}/4$) a presque doublé (25 à 40 %), conférant une difficulté croissante de piochage, réalisé sous une chaleur croissante, et les semis sont retardés (fig. 3 a). En cas de semis tardifs, les travaux d'installation et d'entretien deviennent concurrents.

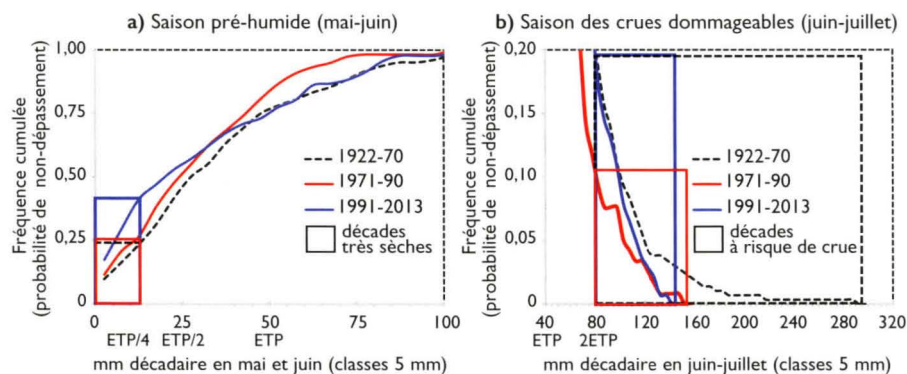


Figure 3.

Analyse fréquentielle des pluies décennales en début de saison.

a : aléa de décades très sèches ;

b : aléa de décades pluvieuses à risques de crues.

Source : Generia.

Un autre aléa existe en juin-juillet, celui de crues dommageables aux cultures à un stade vulnérable. Les plus précoces retardent les opérations rizicoles et abîment les sols labourés, les jeunes cultures et aménagements. Les suivantes submergent les jeunes plants. Le risque de pluies de plus de 100 mm/j, générateur de fortes crues, inexistant entre 1971 et 1990, est réapparu. Les crues dépendent aussi des intensités de pluie et du cumul antérieur de pluie. La figure 4, établie à partir d'un suivi hydrologique de 2 ans, montre qu'en juin-juillet l'aléa « crue » est nul en dessous de 80 mm de cumul décadaire, mais monte à 37 % au-dessus de ce seuil, et 66 % au-dessus de 100 mm. Un simple cumul décadaire, calculé à partir de séries journalières, représente donc un indicateur de l'aléa de crue au-dessus de 80 mm. La fig. 3 b montre un doublement des décades dépassant 80 mm de pluie (10 % à 20 %), donc un doublement de l'aléa de crues précoces depuis 1990.

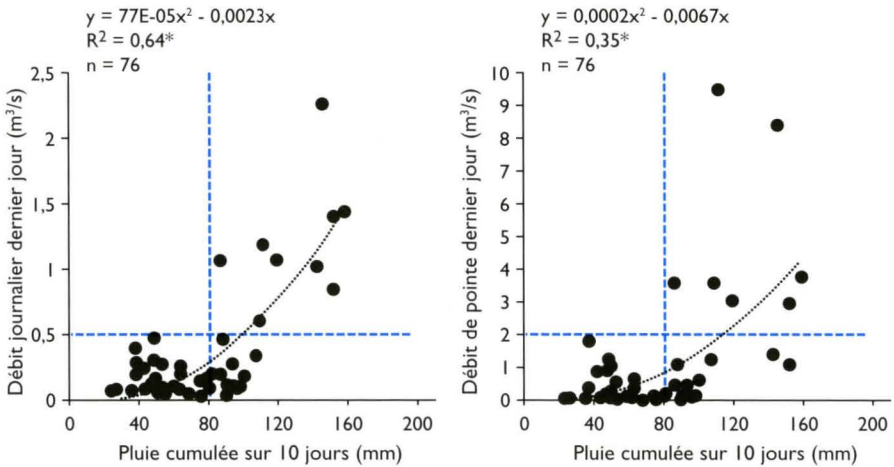


Figure 4.

Débits moyens et débits de pointe en fonction de la pluie cumulée (juin-juillet 2017-2018).

Les pointillés indiquent les seuils de débits jugés à risque et le seuil de pluie cumulée correspondant.

Source : Generia.

Ainsi, les fréquences des deux extrêmes, décades très sèches et décades très pluvieuses, ont doublé en début de saison, témoignant d'un climat de début de saison doublement plus contraignant pour la riziculture en bas-fonds.

Au plan thermo-radiatif, la température s'est accrue de près de +2 °C en 50 ans pendant les mois secs et chauds, et de +1 °C en saison humide. La période froide est devenue en revanche plus fraîche (-1 °C). En août, la température augmente significativement (0,8 ° en 30 ans) et l'insolation diminue significativement (tabl. 1). Une telle évolution est défavorable au riz intensif : elle tend à réduire le taux de nouaison du riz, réduisant le rendement potentiel selon YOSHIDA et PARAO (1976).

Tableau 1.
Changements thermo-radiatifs à Dano en août
(moyennes des données des stations synoptiques Boromo et Gaoua encadrant Dano).
Sources : Generia et Météorologie nationale.

	Température moyenne journalière (°C) (hausse)	Radiation solaire moyenne journalière (MJ/m ² /j) (baisse)
Année 1970	25,7 a	18,9 b
Année 1980-90	26,2 b	18,7 b
Année 2000-2010	26,5 c	18,2 a

Les lettres différentes indiquent une différence significative entre moyennes pour un risque de 5 %.

Contraintes des bas-fonds

Les sols hydromorphes des bas-fonds, bien qu'hétérogènes, sont les plus fertiles des terroirs : composés le plus souvent de plus de 50 % d'argile 2/1, riches en limons, ils ont une bonne activité de fissuration et de rétention d'eau, une bonne capacité d'échange, un pH peu acide, et restent filtrants (DORÉE, 2017 ; YAMÉOGO, 2017). Le taux de matière organique, issue des anciens milieux forestiers et prairies humides est encore élevé mais déclinant du fait d'un bilan organique déficitaire. Ces sols à fortes potentialités ont aussi des contraintes : sol gonflant conduisant à un enracinement peu développé ; fugacité de la disponibilité des nitrates (YAMÉOGO, 2017) ; difficulté à travailler en conditions mouillées, très collantes. Les digues constituées de ce matériau gonflant sont fragiles, surtout si elles ont été damées en sec et colonisées par des termites.

L'avantage de l'humidité s'accompagne de multiples contraintes liées à l'eau. La toxicité ferreuse du sol liée à des conditions asphyxiantes réductrices est perceptible par endroits (eaux rougeâtres, symptômes foliaires).

Le régime variable et aléatoire dépend à la fois des eaux de surface et de la nappe (LIDON, 2017).

En premier lieu, les crues (fig. 5 a) sont néfastes pour les sols travaillés, jeunes cultures et aménagements lorsque la végétation n'est pas encore en état de stabiliser les sols et les digues, et compte tenu de la sensibilité des variétés modernes de riz à la submersion. Sur 14 parcelles enquêtées en 2016, 15 % ont été détruites par les crues et 8 % endommagées par des ravageurs. Les crues produisent une inondation limitée au centre du bas-fond en règle générale mais des crues de fréquence moyenne bi-annuelle (une fois en 2017 et quatre fois en 2018, illustrant la forte variabilité interannuelle de ces aléas) l'inondent sur toute sa largeur (environ 200 m) et sur une épaisseur allant jusqu'à 50 cm. Les crues parvenant à submerger le riz en période végétative sont particulièrement néfastes car elles salissent les feuilles et bloquent le tallage (fig. 5 b). Il s'en est produit deux en 2018 et aucune en 2017.

Des inondations durables nuisent au maïs des buttes et gênent l'entretien. La rémanence de l'inondation varie. Un casier rizicole ceint de diguettes se voit inondé un jour ou deux après chaque grosse pluie dès le mois de juin. Au centre du bas-fond, des inondations d'environ une semaine n'ont pas eu lieu en 2017 mais se sont produites à 6 reprises en 2018 (fig. 5 b).

La nappe à faible profondeur de juin à décembre maintient une possibilité d'alimentation en eau des plantes en l'absence de pluies, par capillarité puis *via* l'exhaure à partir de puisards. Mais la dynamique de la nappe est très variable d'une année sur l'autre sur plusieurs paramètres : date de remontée de la nappe, niveau moyen, périodes de saturation, pression interne, vitesse de descente (fig. 5 b). Il existe des poches sèches (début sept. 2017) qui voient la nappe redescendre rapidement, alors que le riz à faible enracinement est sensible en période de floraison. Il existe aussi en 2018 une longue période tardive de saturation en eau avec pression interne de la nappe élevée, indépendamment des inondations de crue (pic de la nappe décalé au 1^{er} octobre, fig. 5 b), qui augmente les conditions d'asphyxie.

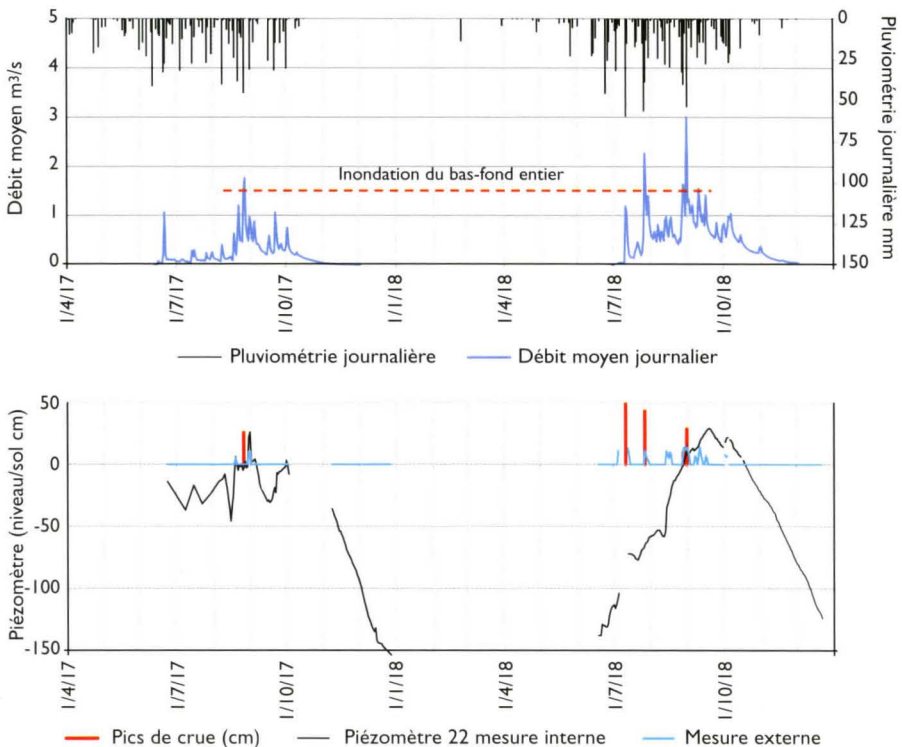


Figure 5.

a (haut) : pluviométrie, hydrométrie ;

b (bas) : piézométrie d'une section « non aménagée »

(mesure externe = lame d'eau de surface ; mesure interne = pression de la nappe).

Source : Generia.

Facteurs climatiques du rendement

Les composantes du rendement 2017 (sécheresses en septembre) et 2018 (excès d'eau) sur les parcelles sont analysées globalement.

Variabilité et effet année

Le tableau 2 montre la médiocrité des rendements parcellaires moyens en riz de bas-fond (2t/ha sur deux ans) mais aussi leur grande variabilité (de 0,4 à 6 t/ha, CV = 63 %), exprimant des tensions entre un potentiel élevé et des contraintes sévères, et une variété de pratiques, entre des systèmes techniques intensifs et extensifs. (DORÉE, 2017).

Tableau 2.
Composantes du rendement « riz de bas-fonds » deux années de suite
(l'effet année est significatif S si p-value <0,05 (test T)).

	Moyenne	CV %	2017	2018	p-values
Composantes					
Rendements à 14 %H ₂ O (t/ha)	2,0	63	2,6	1,7	0,00 S
Précoces					
Rendement MS paille (t/ha)	2,5	60	3,9	1,8	0,00 S
Panicules utiles /m ²	107	37	128	97	0,00 S
Taux de touffes vides %	6,6	85	3,1	8,4	0,00 S
N grains/panicule	78	35	92,7	71,5	0,00 S
Tardives					
Poids de 1 000 grains (g)	21,8	12	19,0	23,1	0,00 S
Biovolume adventices	146	92	172	134	0,24
Poids d'une panicule utile sèche (g)	1,72	32	1,85	1,65	0,13
Taux de panicules inutiles %	10,4	68	10,5	10,3	0,92
Taux de grains vides (%)	8,1	153	24,3	0,3	0,00 S
N parcelles		80		26	54

L'importance de l'effet année sur le rendement (- 34 % en 2018) est frappante, illustrant la forte exposition de cette riziculture de bas-fond aux aléas hydrologiques d'excès d'eau (tabl. 2). Les composantes déterminées précocement se sont dégradées en 2018, mais les composantes tardives se sont améliorées, du fait de la sécheresse 2017 en septembre. Les sécheresses de septembre 2017 ont donc eu moins d'incidence sur le rendement que les inondations et crues de 2018.

Effets des inondations 2018

La partie aval de l'aménagement de Bankandi, construit en digues en courbe de niveau (DCN), avait été quasi abandonnée de longue date suite à des inondations récurrentes même en année normale comme 2017 (YIRA et al., 2019).

Des crues et inondations ont marqué les phases végétatives et pré-florale de juillet 2018 (fig. 5 a et 5 b), comme le montre la courbe enveloppe décroissante sur tous les diagrammes « composantes précoces vs durées d'inondation », telle que la biomasse végétative (fig. 6). Les inondations ont donc introduit des facteurs limitants.

Comme le riz est une des cultures les plus tolérantes à une inondation modérée, d'autres effets indirects doivent être recherchés. La perte des nitrates par lixiviation, l'entraînement superficiel des engrais par les crues et l'urée soluble plusieurs jours avant d'être retenue dans la CEC sous la forme ammonium (ANGLADETTE, 1966) rendent l'azote disponible vite déficitaire (YAMÉOGO, 2017). Une végétation jaunâtre indique une alimentation azotée déficitaire. Le taux de parcelles jaunâtres est déjà de 1/3 pour moins de 10 jours d'inondation, et atteint 2/3 au-delà de 30 jours d'inondation (fig. 6). La dynamique de l'azote est donc en partie en cause.

Mais les végétations les plus vertes, bien alimentées en azote, ont eu aussi de meilleures croissances sous faible inondation. Il faut donc invoquer un second processus, comme des dommages aux plants submergés en cas de crues (salissement des feuilles, asphyxies temporaires, déchaussements).

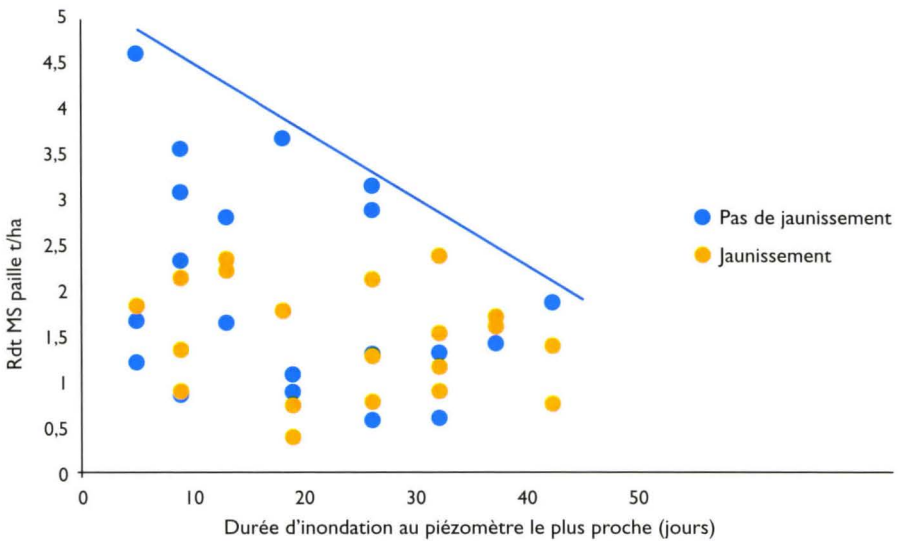


Figure 6.
Biomasse végétative maximum limitée par l'alimentation azotée
et la durée d'inondation en 2018.

Source : Generia.

Effet des aménagements

Puisque la durée d'inondation (corrélée à la hauteur de submersion) paraît déterminer le potentiel, des aménagements renforceurs de drainage pourraient réduire l'aléa d'inondation.

Les inondations de 2016 ont cependant fortement perturbé la mise en place du riz sur le périmètre CAD de Lofing, dont les canaux ont été surcreusés début 2017 pour pallier cet inconvénient (DORÉE, 2017). Mais ce surcreusement avait aussi entraîné des difficultés de mobilisation de l'eau des canaux pendant la phase sèche de septembre 2017. Mais des inondations ont eu lieu à nouveau en 2018.

Suite aux demandes de la population de Bankandi, la fondation Dreyer a organisé en mai 2018 le creusement de canaux de drainage sur le bas-fond chroniquement engorgé, transformant l'aménagement DCN en système CAD. Malgré une année 2018 très pluvieuse (décennale humide propice à l'inondation), la quasi-totalité du bas-fond a pu être emblavée et récoltée, le drainage a donc atteint en partie ses buts. L'impact des 2 aménagements CAD sur la durée d'inondation par rapport aux zones non aménagées du quartier Zangoli est très net (fig. 7).

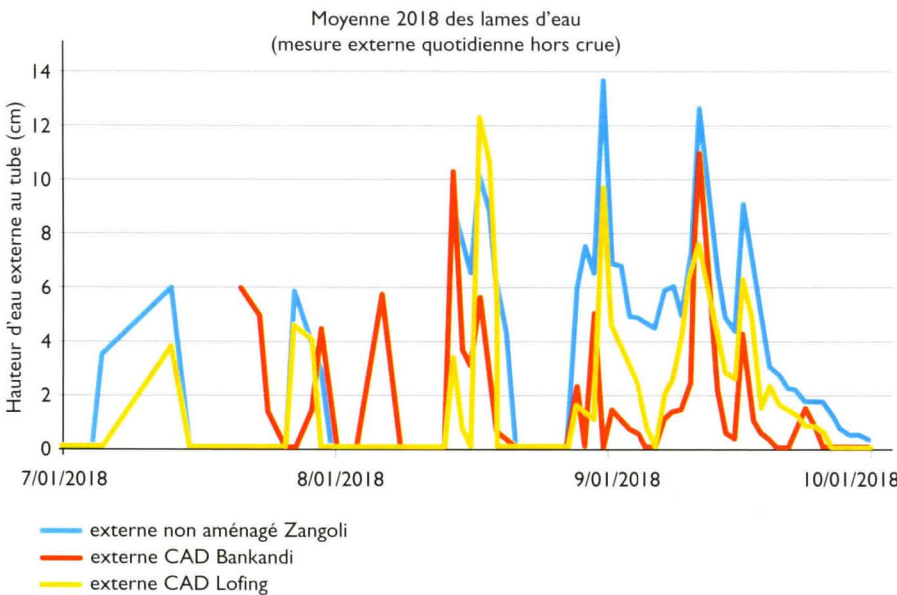


Figure 7.
Effet des aménagements CAD sur la durée
et la hauteur moyenne des inondations de 2018
(mesure externe sur les piézomètres en l'absence de crue).

Source : Generia.

En revanche, l'aménagement CAD n'agit pas significativement sur la durée de saturation du profil, la nappe de bas-fond étant liée à un système souterrain qui dépasse l'étendue de l'aménagement (convergence des nappes de pentes) (fig. 8). L'effet apparent à Bankandi de remontée plus précoce et plus haute, alors que son bassin est le plus petit, est lié vraisemblablement à sa forme en entonnoir.

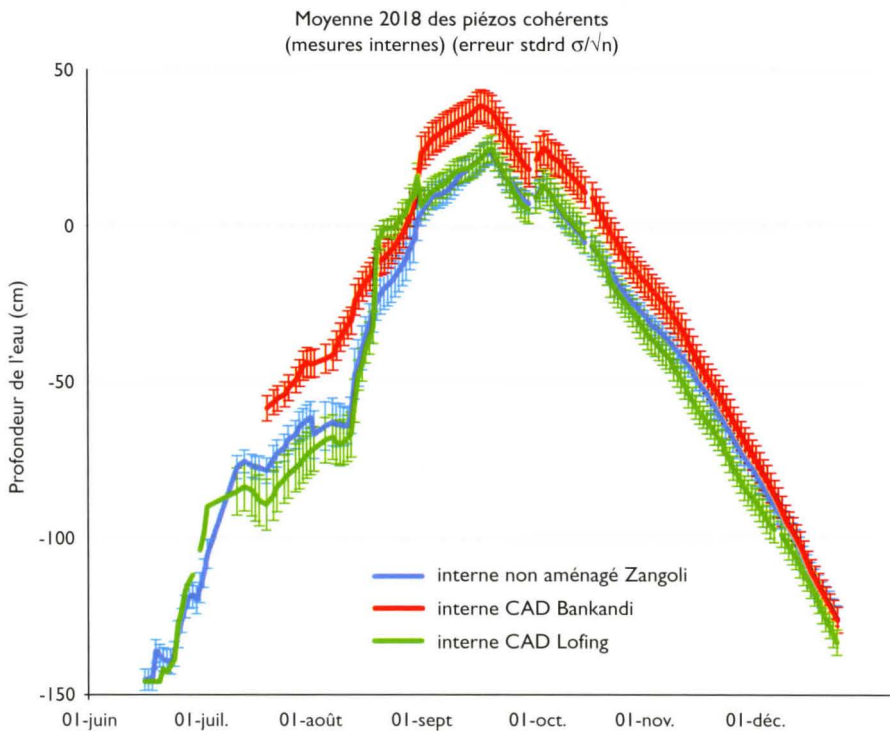


Figure 8.

Dynamique de la nappe en 2018 par mesure de hauteur piézométrique interne. Les valeurs positives correspondent à la surpression de la nappe dans le sous-sol argileux.

Source : Generia.

Discussion et conclusion

D'autres points du diagnostic Generia indiquent bien d'autres contraintes que l'aléa d'inondation/submersion à lever ou auxquelles s'adapter dans les rizières de bas-fonds : importance d'un piochage et d'un semis précoces, rôle majeur des mauvaises herbes mal contrôlées, tant en début de cycle qu'en fin de cycle. Les densités de plantation sont trop faibles avec trop peu de démarrage. Absence de fumure organique et mauvais timings de la fertilisation de couverture (souvent trop tard), usage abusif d'herbicides, monoculture, irrigation insuffisante pendant les poches sèches tardives. Ces systèmes de culture et itinéraires techniques souvent défectueux révèlent d'abord que les ressources (en fumier, en travail, en temps) ne sont pas dédiées en priorité au riz, à la fois risqué, contraignant et de faible enjeu (petites parcelles, prix non incitatif).

La faible production rizicole dans les bas-fonds a donc des origines multiples, contraintes hydriques (excès ou déficit) mais aussi stratégies de gestion des risques et de gestion des ressources qui conduisent à investir plus de temps, de travail et

d'argent sur les grands champs de plateau. L'aménagement CAD favorable au drainage joue pourtant un rôle certain pour réduire l'aléa inondation et l'aléa érosion et encourager à l'investissement en travail et en intrants.

Cette interprétation des données 2017 et 2018 est encore partielle. En effet le principe de notre méthode d'analyse des données empiriques, à savoir la recherche de liens statistiques entre facteurs hypothétiques et résultats, n'est pas toujours suffisant pour identifier les causalités. Le diagnostic complet nécessite un raisonnement complémentaire (recherche de liens de confirmation par expérimentation, par recoupement, répétition de l'enquête).

Ces résultats valident les chantiers d'innovation lancés en 2018 lors des ateliers du programme Generia afin de réduire les risques :

- renforcer les capacités de drainage des aménagements de type DCN sur les sites à risque (grands bassins versants, faibles pentes) ;
- renforcer la solidité des ouvrages et réduire les risques érosifs associés aux types CAD ;
- rechercher des variétés supportant mieux l'aléa de submersion.

Références

ANGLADETTE A., 1966

Le Riz.

Paris, Ed Maisonneuve et Larose.

BROWN O., CRAWFORD A., 2008

Évaluation des conséquences des changements climatiques sur la sécurité en Afrique de l'Ouest. Étude de cas nationale du Ghana et du Burkina Faso.

Lied, Canada.

DORÉE A., 2017

Gérer les nouveaux risques des bas-fonds soudanais (Dano, Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur agronome, option Resad, Montpellier Supagro, IRD, Cirad, Wascal, 84 p.

DORÉE T., SEBILLOTTE M., MEYNARD J.-M., 1997

A diagnostic method for assessing regional variations in crop Yield. *Agricultural Systems*, 54 (2) : 169-188

DRABO A., 2004

Situation de la filière riz au Burkina Faso, Observatoire national de la filière riz du Burkina Faso – Onriz

ELDIN M., MILLEVILLE P., 1989

Le risque en agriculture. Paris, Éditions de l'Orstom, coll. ATC.

JAMIN J.-Y., WINDMELIER P.-N. (eds), 1995

La mise en valeur durable des bas-fonds d'Afrique de l'Ouest. Premiers résultats du consortium bas-fonds, 118 p. Atelier annuel du consortium bas-fonds WARDA.3, Bouaké, Côte d'Ivoire, 23–24 mars 1995.

LALLAU B., 2008

Les agriculteurs africains entre vulnérabilité et résilience. Pour une approche par les capacités de la gestion des risques. *Revue française de socio-économie* 1 (1) : 177-198.

LIDON M., 2017

Analyse des caractéristiques climatiques de Dano, (document Generia)

**MANZELLI M., FIORILLO E.,
BACCI M., TARCHIANI V., 2015**

La riziculture de bas-fond
au sud du Sénégal (Moyenne Casamance) :
enjeux et perspectives pour la pérennisation
des actions de réhabilitation
et de mise en valeur.

Cahiers Agricultures, 24 (5) : 301-312.

DOI: 10.1684/agr.2015.0772.

MILLEVILLE, P., 1987

Recherches sur les pratiques des agriculteurs.
Les Cahiers de la recherche-développement,
16 : 3-7.

MOODY K., 1993

Weed control in wet seeded rice.
Expl agric., 29 (4) : 393-403.

**OUEDRAOGO M., DEMBELE Y.,
SOME L., 2010**

Perceptions et stratégies d'adaptation
aux changements des précipitations :
cas des paysans du Burkina Faso.

*Science et changements
planétaires/Sécheresse*, 21 (2) : 87-96.

**PALE S., KIEMDE B. J.,
DA D. E., 2016**

Pratiques traditionnelles paysannes
dans les bas-fonds agricoles à Dano
au Burkina Faso.

Rev. Sc. Env. Univ. Lomé, 13 : 122-136.

PRADEAU C., 1970

Kokolibou (Haute-Volta)
ou le pays Dagari à travers un terroir.
Études rurales, 37-39 : 85-112.

RAUNET M., 1985

Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar.
Géomorphologie-géochimie-pédologie-
hydrologie.

Zeitschrift für geomorphologie, 52 : 25-62.

SAWADOGO A., 2018

*Adaptation technique rizicole
suite aux changements dans l'environnement
des bas-fonds.*

Mémoire de fin d'étude,
CAPM/GENERIA, 91 p

SERPANTIÉ G., ZOMBRE P., 1994

*Contraintes et potentialités des petits bas-fonds
soudano-sahéliens vis-à-vis d'une riziculture
sous aménagement d'étalement de crues.*

*Expérience du programme R3S à Bidi
(Nord-Yatenga).*

Atelier national sur la riziculture
et commission du programme riz,
Bobo-Dioulasso, 9-11 mai 1994.

YAMEOGO P. L., 2017

*Managing seasonal soil nitrogen dynamics
in inland valleys of the West African savanna
zone.* Ecology and Development Series, 102,
Bonn, Ed. ZEF, 99 p.

**YIRA Y., BOSSA Y.A., KEITA A.,
FUSILLIER J. L., SERPANTIÉ G.,
YAMÉOGO B. T., IDRISSOU M., LIDON B., 2019**

Failure of inland valleys development:
a hydrological diagnosis of the Bankandi
valley in Burkina Faso.

Modeling Earth Systems and Environment;
<https://doi.org/10.1007/s40808-019-00628-5>.

YOSHIDA S., PARAO F. T., 1976

Climatic influence on yield and yield
components of lowland rice in the tropics.
Climate and rice, 20 : 471-494.